NOSEMA COLIADIS, NUEVA ESPECIE DE MICROSPORIDIO PARASITO DE LA « ISOCA DE LOS ALFALFARES » (*COLIAS LESBIA*)

POR

CLOTILDE JAUCH [1] Y NORBERTO ARGENTINO JAUCH [2]

INTRODUCCION

A fines de 1946 y en los primeros meses del año 1947, observamos una elevada mortandad de orugas de *Colias lesbia* procedentes de los alfalfares de los alrededores de Córdoba, Angel Gallardo (Santa Fe) y José C. Paz (Buenos Aires) [3], como así también en las crías que realizamos en el Insectario Regional de ésta.

La epidermis de orugas de muy diversas edades presentaban manchas pardo-negruzcas, que recuerdan a las « petecchie » de la nosemosis del gusano de seda. Desde la aparición de este síntoma hasta la muerte transcurrían varios días; pero, en numerosas ocasiones, larvas cuyo tegumento tenía un aspecto normal, las encontrábamos después de 24-48 horas completamente ennegrecidas y muertas. También hallábamos numerosas crisálidas muertas con la superficie obscurecida total o parcialmente.

Al practicar una incisión en el tegumento de esas orugas y crisálidas, del interior de las mismas salía un líquido de color blanco lechoso que examinado microscópicamente acusaba la presencia de corpúsculos ovalados y refringentes, parecidos a levaduras y a esporos de microsporidios.

[1] Ingeniera Agrónoma. Jefe del Laboratorio Regional de Fitopatología de José C. Paz (F. C. P.) del Instituto de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura de la Nación.

[2] Ingeniero Agrónomo. Técnico del Insectario Regional de José C. Paz (F. C. P.) del Instituto de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura de la Nación.

[3] Agradecemos a los señores Ing. Agr. Mario Griot, Prof. Tulio Mácola y Adm. Rural Luis L. Niel, por el material de larvas que nos han facilitado.

Para determinar cuál de estos microorganismos habíamos hallado y de acuerdo con el método recomendado por Mercier (Kudo 1924), procedimos a colorar con fucsina de Ziehl algunos frotis preparados con material enfermo. Debido a que los corpúsculos mencionados mantuvieron su coloración roja brillante después de haber sido tratados con una solución débil de ácido sulfúrico, descartamos la posibilidad de que fueran levaduras.

Siguiendo la técnica de la presión mecánica (Kudo 1924), obtuvimos la salida de un filamento que pudo ser observado por la impregnación de plata de Fontana y más rápidamente, en campo oscuro (Lám. I, figs. B-C-D).

En presencia de este microorganismo no fué posible realizar con éxito crías de *Colias lesbia* en jaulas, llegando a la madurez tan sólo un porcentaje muy reducido de la primera generación.

Los adultos de ésta en su mayoría murieron a los pocos días de haber nacido y después de una abundante ovoposición. Las larvas de la segunda generación llegaron solamente a la primera o segunda muda.

METODOS

Las orugas, abiertas ventral y longitudinalmente en una solución fisiológica (6 por mil de NaCl), son fijadas por los métodos usados en citología. Dieron muy buen resultado los líquidos de Schaudinn, de Bouin y de Carnoy.

Para colorar los frotis fijados de hemolinfa, contenido intestinal y tejidos, como así también los cortes al micrótomo de los tejidos previamente incluídos en parafina, utilizamos con éxito la solución de Giemsa, la hematoxilina férrica de Heidenhain, el hemalum de Mayer, el hemalum ácido de Mayer y la reacción nuclear de Feulgen, con coloración de contraste verde-luz y sin ella.

Además usamos el carmín de Grenacher (Langeron 1934), con coloraciones de contraste azul de metileno, verde de metilo y verde-luz y también prescindiendo de las mismas.

Para colorar el filamento polar recurrimos al método de la impregnación de plata de Fontana (Langeron 1934 y Conn and Darrow 1943-45) y a la misma técnica con la modificación de Gilbert y Bartels (Conn and Darrow 1943-45).

CLASIFICACION DEL PARASITO

En los cortes al micrótomo de las paredes del ventrículo de la larva, observamos en algunos puntos las células digestivas y regeneratrices del epitelio repletas del parásito y a menudo una proliferación anormal de las células regeneratrices que produce una prominencia en la cavidad hemocélica (Lám. I, fig. A).

Las figuras de la lámina II ilustran comparativamente un trozo normal y uno enfermo del epitelio del ventrículo.

El trofozoito joven, pequeño organismo de forma ameboidal que mide cerca de 1 μ de diámetro, sale del interior de los esporos ingeridos por la larva huésped y penetra en las células de las paredes del intestino de la misma. Allí toma un aspecto más redondo, crece alimentándose a expensas de las células parasitadas y adquiere tamaño y forma variables según el espacio disponible.

En la esquizogonia, el parásito se multiplica por división nuclear y separación citoplasmática posterior.

En la esporogonia, el esporonte por desarrollo y maduración da origen a un solo esporo.

El esporo tiene forma oval y las extremidades casi igualmente redondeadas (Lám. III). Al estado fresco presenta una superficie muy refringente. Teñido por la solución de Giemsa muestra dos vacuolos, uno en cada extremo, de diferente tamaño y separados entre sí por el esporoplasma de un aspecto característico « girdle-shaped » (Lám. IV, fig. A).

En el esporo sometido a la reacción nuclear de Feulgen, observamos en el esporoplasma dos núcleos bien diferenciados y ubicados uno al lado del otro en sentido longitudinal al esporo (Lám. IV, fig. B).

Al provocar la expulsión artificial, un solo filamento polar sale del esporo llegando a medir alrededor de 48 μ.

Las dimensiones del esporo al estado fresco son las siguientes: largo de 4,2 μ a 5,6 μ y ancho de 1,4 μ a 2,8 μ.

Por lo recién descripto clasificamos al microorganismo en estudio, de acuerdo con la clave de Léger y Hesse modificada por Kudo (1924 y 1946), en el orden Microsporidia, suborden Monocnidia, familia Nosematidae, género *Nosema*.

Para determinar la especie de *Nosema* en cuestión la comparamos con las características específicas de todas las especies de *Nosema* conocidas hasta la fecha.

Hemos observado que los autores no coinciden respecto a la forma y a las dimensiones de los esporos y a la longitud del filamento polar de *N. bombycis*, *N. parva*, *N. bryozoides*, *N. marionis* y *N. apis*.

Esas notables variaciones son debidas, muy probablemente, a la influencia de las diferentes regiones en las cuales ha sido hallado el material de estudio. Otra causa puede ser también que los autores han utilizado fijadores y colorantes diversos que han producido contracciones en los esporos de mayor o menor intensidad como así también que algunos esporos fueron medidos frescos y otros conservados.

Estas observaciones nos inducen a sostener la opinión de Kudo (1943) de que la diferencia específica del animal huésped puede, por ahora, ser utilizada como una de las características en la identificación de las especies de Microsporidios.

La *Nosema* que encontramos en *Colias lesbia* es el único microsporidio conocido parásito de esta especie de lepidóptero.

Kudo (1924) informa que la esporogonia de *N. vanillae* α y β, *N. astyrae*, *N. girardini*, *N. junonis* α y β, *N. lysimniae*, *N. eubules*, *N. lophocampae*, *N. erippi*, *N. heliotidis*, *N. halesidotidis*, *N. caeculiae*, *N. hydriae* α y β, *N. micrattaci*, *N. sabaunae*, *N. auriflammae*, *N. mystacis*, *N. distomi*, *N. ephemerae* α y β, *N. chironomi*, *N. ephialtis*, *N. balantidii* y *N. stegomyae* no ha sido estudiada, y la forma vegetativa de *Nosema sp.* Ishiwata 1917, *N. culicis*, *Nosema sp.* Noller 1920 y *Nosema sp.* Martini 1920 no ha sido descripta; por lo tanto la determinación genérica de dichas especies es todavía discutible, como también la de *N. parva* y *N. branchiale* por causa de que las descripciones de sus formas vegetativas despiertan dudas.

Al comparar la *Nosema* de *Colias lesbia* con las especies de *Nosema* conocidas, en ninguna encontramos una perfecta igualdad de caracteres específicos; sólo en alguna de ellas pudimos hallar cierta semejanza en las dimensiones.

Puesto que nuestro propósito al emprender el presente trabajo no ha sido realizar una modificación de la sistemática en uso, y aunque estimamos que la misma es rudimental en lo que se refiere a diferenciación específica, respetamos la opinión de los investigadores más eminentes que se ocuparon del estudio de los microsporidios.

Por lo tanto, conforme a las exigencias sistemáticas cumplidas para crear nuevas especies de *Nosema* por los especialistas H. B. Fantham y A. Porter (1914), H. B. Fantham (1939), H. B. Fantham, A. Porter y L. R. Richardson (1941), O. Jírovec (1936-36*a*), R. R. Kudo (1921-24-30-39-43-44), I. Schwarz (1929) y R. Weissenberg (1926), consideramos la *Nosema* de *Colias lesbia* como especie nueva para la ciencia y, por ser parásito de dicho lepidóptero, la designamos con el nombre de *Nosema coliadis.*

Ningún autor (ver bibliografía adjunta), al crear nuevas especies de *Nosema*, llena mayores requisitos que los observados por los investigadores mencionados; al contrario, la mayoría los limita más aún.

DIAGNOSIS DE « NOSEMA COLIADIS » NOV. SPEC.

HUÉSPED. — *Colias lesbia.*

LOCALIDAD. — Argentina: en los alrededores de José C. Paz (Buenos Aires), Córdoba y Angel Gallardo (Santa Fe).

LUGAR DE INFECCIÓN. — Células epiteliales del ventrículo de la larva.

TROFOZOITO. — De forma ameboidal, mide cerca de 1 μ de diámetro y se multiplica por división binaria; el esporonte de más de 3,5 μ de diámetro, binucleado, se transforma directamente en un solo esporo.

ESPORO. — Ovalado con las extremidades casi igualmente redondeadas y un vacuolo en cada una de éstas; el esporoplasma « girdle-shaped » muestra dos núcleos bien diferenciados; un solo filamento polar sale del esporo llegando a medir alrededor de 48 μ.

Al estado fresco el esporo mide 4,2 μ a 5,6 μ de largo por 1,4 μ a 2,8 μ de ancho.

HOSPES. — *Colias lesbia.*

LOCUS. — *Argentina: Circum Córdoba, Angel Gallardo (Santa Fe) et José C. Paz (Buenos Aires).*

INFECTIONIS SITUS. — *Larvae ventriculi epithelium.*

TROPHOZOITUS. — *Amoebae forma, plus minusve* 1 μ, *multiplicatio binaria fissione; sporont plus* 3,5 μ, *binucleatus, in unicum sporum se vertet.*

SPORUS. — *Ovatus cum extremitatibus fere pariter rotundis et cum vacuolo in quoque extremitate; sporoplasma cinguli formam assimulat et duo nucleos sane distinctos ostendet; unicum poli filum ex sporo emerget plus minusve* 48 μ.

Recens sporus 4,2-5,6 μ *longus et* 1,4-2,8 μ *latus est.*

RESUMEN

1) *Nosema coliadis* nov. spec. invade y se desarrolla en las células epiteliales del ventrículo de la larva de *Colias lesbia*. Es el único microsporidio conocido que parasita esta especie de lepidóptero.

2) El microorganismo se multiplica por división binaria.

3) El esporonte binucleado se transforma directamente en un solo esporo que tiene un esporoplasma « girdle-shaped » con dos núcleos bien diferenciados.

4) La clasificación del microorganismo es discutida en detalle.

BIBLIOGRAFIA

CONET, M. A. 1931. — « *Nosema herpobdellae*, microsporidie nouvelle parasite des Hirudinées ». *Ann. Soc. Sci. Brux.* 51 B: 170-171.

CONN, H. J., and M. A. DARROW. 1943-45. — « Staining Procedures Used by the Biological Stain Commission ». Biotech Publications Geneva, N. Y.

CHATTON, E., y R. COURRIER. 1923. — « Formation d'un complexe xéno-parasitaire géant avec bordure en brosse, sous l'influence d'une Microsporidie, dans le testicule de *Cottus bubalis* ». *C. R. Soc. Biol.* Paris 89: 579.

DAMBACH, J. 1928. — « Nosemacid, das Gegenmittel der Nosemasenche. Verh. Schweiz. Nosema-Kommission ». *Landw. Jahrb. Bern.* 526-529.

DEBAISIEUX, P. 1928. — « Etudes cytologiques sur quelques Microsporidies ». *La Cellule.* 38: 413.

FANTHAM, H. B., and A. PORTER. 1914. — « The morphology, biology and economic importance of *Nosema bombi*, sp. n., parasitic in various humble bees (*Bombus spp.*) ». *Ann. Trop. Med. Paras.*, 8: 623-638.

FANTHAM, H. B. 1939. — « *Nosema cactoblastis*, sp. n., and *Nosema cactorum*, sp. n., microsporidian parasites of species of *Cactoblastis* (Lepidoptera) destructive to prickly pear ». *Proc. Zool. Soc. London*, 108: 689.

FANTHAM, H. B., A. PORTER and L. R. RICHARDSON. 1941. — « Some Microsporidia found in certain fishes and insects in Eastern Canada ». *Parasit.*, 33: 186-208.

GUYÉNOT, E., A. NAVILLE y K. PONSE. 1926. — « Deux Microsporidies parasites de Trématode ». *Rev. Suisse Zool.*, 31: 399.

HERTIG, M. 1923. — « The normal and pathological histology of the ventriculus of the honey-bee, with special reference to infection with *Nosema apis* ». *Jour. Paras.*, 9 (3): 109.

JÍROVEC, O. 1936. — « Studien über Microsporidien ». *Mém. Soc. Zool. Tchecoslovaque de Prague,* 4: 1-75.

JÍROVEC, O. 1936*a*. — « Ueber zwei neue Nosema-Arten aus Oligochaeten ». *Zool. Anz.,* 114: 217-220.

KUDO, R. R. 1918. — « Experiments on the extrusion of polar filaments of Cnidosporidian spores ». *Jour. Paras.,* 6: 178-182.

KUDO, R. R. 1924. — « A biologic and taxonomic study of the Microsporidia ». *Illinois Biol. Mono.,* 9 (2-3): 77-344.

KUDO, R. R. 1930. — « Studies on Microsporidia parasitic in mosquitoes. VIII. On a microsporidian, *Nosema aedis* nov. sp., parasitic in a larva of *Aëdes aegypti* of Porto Rico ». *Arch. Protistk.* 69: 23-38.

KUDO, R. R. 1939. — « Observations on *Nosema notabilis* n. sp., parasitic in a myxosporidian ». *Anat. Recor.* Vol. 75, pág. 153 of Supplement.

KUDO, R. R. 1942. — « On the microsporidian *Duboscqia legeri* Perez 1908, parasitic in *Reticulitermes flavipes* ». *J. Morphol.,* 71: 307-333.

KUDO, R. R. 1943. — « *Nosema termitis* n. sp., parasitic in *Reticulitermes flavipes* ». *J. Morphol.,* 73: 265-279.

KUDO, R. R. 1944. — « The morphology and development of *Nosema notabilis* Kudo, and of its host *Sphaerospora polymorpha* Davis, parasitic in *Opsanus tau* and *O. beta* ». *Illinois Biol. Mono.,* 20 (1): 7-83.

KUDO, R. R. 1946. — « Protozoology ». Charles C. Thomas, Springfield Illinois. 778 pp.

LANGERON, M. 1934. — « Précis de microscopie ». Masson et Cie. Paris, 1205 pp.

MASERA, E. 1936. — « Le malattie infettive degli insetti ». Lucinio Cappelli. Bologna. 343 pp.

MERCIER, L., et R. POISSON. 1926. — « Microsporidies parasites de Mysis ». *C. R. Ac. Sci.* Paris, 182: 1576.

PAILLOT, A. 1915. — « Les Microorganismes parasites des insectes. Leur emploi en agriculture ». *Ann. Serv. Epiph.,* 2: 188.

PAILLOT, A. 1918. — « Deux microsporidies nouvelles parasites des chenilles de *Pieris brassicae* ». *C. R. Soc. Biol.,* 81: 66-68.

PAILLOT, A. 1918*a*. — « *Perezia legeri* nov. sp., microsporidie nouvelle, parasite des chenilles de *Pieris brassicae* ». *C. R. Soc. Biol.,* 81: 187-189.

PAILLOT, A. 1930. — « Traité des maladies du ver a soie ». G. Doin et Cie., Paris. 279 pp.

PAILLOT, A. 1933. — « L'infection chez les insectes ». G. Patissier, Trévoux. 535 pp.

PAILLOT, A. 1938. — « Le cycle évolutif de *Nosema carpocapsae,* microsporidie nouvelle parasite du Carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) ». *C. R. Soc. Biol. Paris,* 127: 1138-1140.

PAILLOT, A. 1939. — « Contribution a l'étude cytologique et histophysiologique du *Bombyx* du murier pendant la mue ». *Ann. Epiphyt. Phytogenet.* 5 (3): 340-383. Paris.

POISSON, R. 1928. — « Sur une infection a microsporidie chez la Nepe Cendrée (Hémiptère-Hétéroptère). La réaction des tissus de l'hôte vis-a-vis du parasite ». *Arch. Zool. Exp. Gen.* 67 Notes et revue 3: 129-137.

ROVEDA, R. J. 1947. — « *Bombyx mori* L. y *Nosema bombycis* Naegeli 1857 ». *Rev. Fac. Agr. y Vet.* 11: 334-342.

SCHWARZ, I. 1929. — « Untersuchungen an Microsporidien minierender Schmetterlingsraupen, den Symbionten Potiers ». *Ztschr. Morphol. Oekol., Tiere* 13: 665-705.

SHORTT, H. E., et C. S. SWAMINATH. 1924. — « Note on *Nosema adiei* (Christophers 1922) ». *Ind. Jour. Med. Res.* 12: 181-183.

SNODGRASS, R. E. 1935. — « Principles of insect morphology ». Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York. 667 pp.

STEINHAUS, E. A. 1946. — « Insect Microbiology ». Comstock Publishing Co., Ithaca, N. Y. 763 pp.

SWEETMAN, H. L. 1936. — « The biological control of insects ». Comstock Publishing Co., Ithaca, N. Y. 461 pp.

VAN RYCKEGHEM, J. 1928. — « Une microsporidie nouvelle des Tubifex: *Nosema tubificis* n. sp. ». *Ann. Soc. Sci. Brux.* 48: 139-140. Sér. B, I.

VAN RYCKEGHEM, J. 1930. — « Les Cnidosporidies et autres parasites du *Gammarus Pulex* ». *La Cellule,* 39: 400.

WEISSENBERG, R. 1926. — « Microsporidien aus Tibulidenlarven (*Nosema binucleatum* n. sp., *Thelohania tipulae* n. sp.) ». *Arch. Protistk.* 54: 431-467.

WENYON, C. M. 1926. — « Protozoology ». William Wood and Co., New York. 2 Vols., 1563 pp.

YUNG-TAI, TSCHANG 1929. — « L'histogenèse et l'histophysiologie de l'epithelium de l'intestin moyen chez un lépidoptère (*Galleria mellonella*) ». Supplement 12. *Bull. Biol. France et Belgique,* Paris. 144 pp.

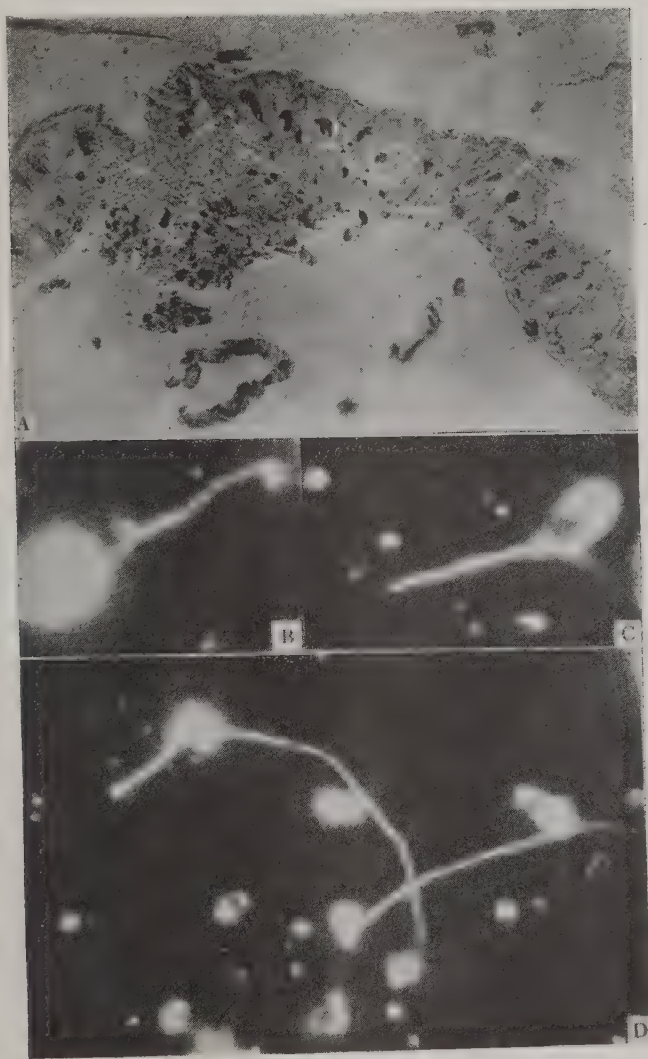


FIG. A. — Fotomicrografía de un trozo de la pared del ventrículc de la larva de *Colias lesbia*. Se observa en una parte del mismo las células digestivas y regeneratrices repletas de *Nosema coliadis* nov. spec. y una proliferación anormal de las células regeneratrices que producen una prominencia en la cavidad hemocélica. (200 ×).

FIGS. B-C-D. — Fotomicrografías en campo obscuro de esporos de *Nosema coliadis* nov. spec. que muestran el filamento polar. B y C: 2500 ×; D: 1900 ×. (Originales de los autores).

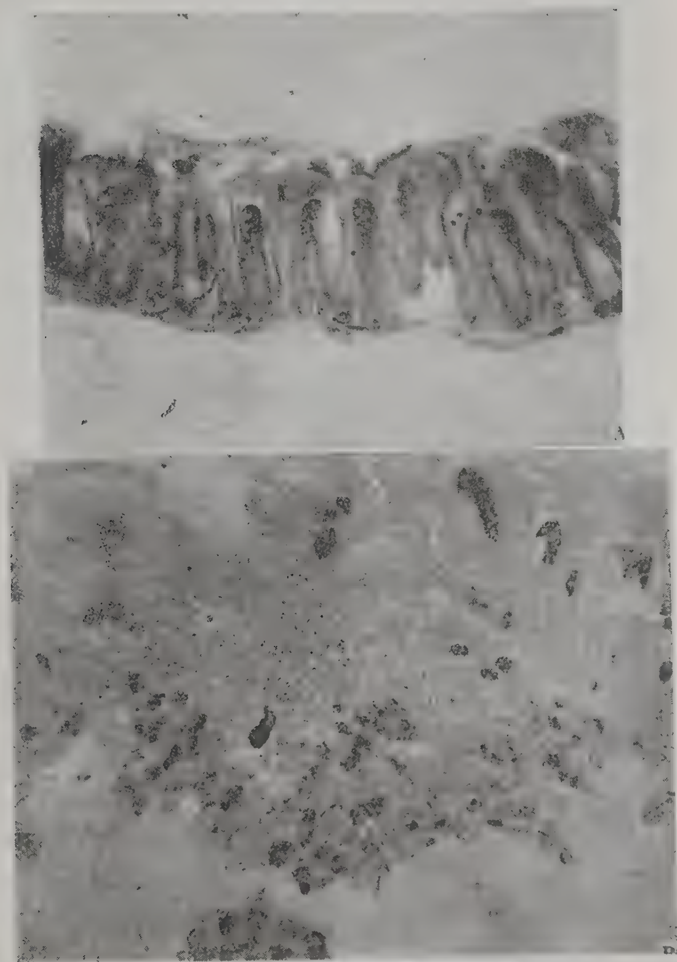


FIG. A. — Fotomicrografía de un trozo normal del epitelio del ventrículo de la larva de *Colias lesbia*. 450 ×.

FIG. B. — Fotomicrografía de un trozo anormal del epitelio del ventrículo de la larva de *Colias lesbia*. Las células digestivas y regeneratrices se hallan repletas de *Nosema coliadis* nov. spec. 450 ×. (Originales de los autores).



FIGS. A y B. — Fotomicrografías de esporos de *Nosema coliadis* nov. spec. en campo obscuro. A: 950 ×; B: 1900 ×. (Originales de los autores).

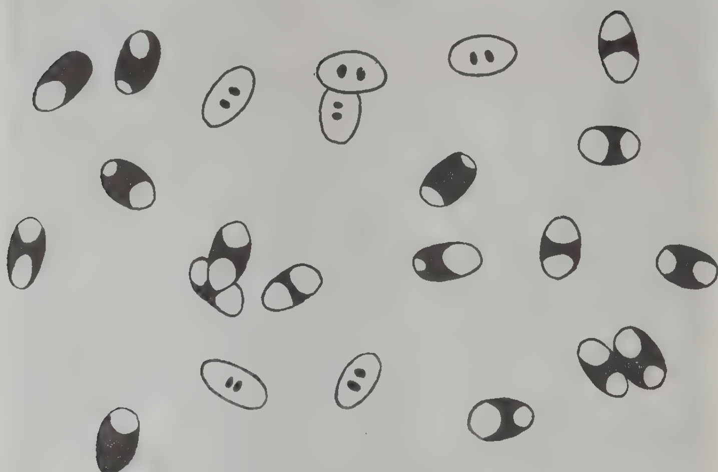




FIG. A. — Esporos de *Nosema coliadis*, nov. spec., teñidos por la solución de Giemsa. 1900 ×.
FIG. B. — Esporos de *Nosema coliadis*, nov. spec., sometidos a la reacción nuclear de Feulgen. 1900 ×.
(Originales de los autores).

SECCION CONFERENCIAS

COMUNICACIONES FERROVIARIAS DE BOLIVIA Y EL TRATADO ECONOMICO, FINANCIERO Y CULTURAL ARGENTINO-BOLIVIANO

POR

EUDORO GALINDO

Conferencia pronunciada en la Sociedad Científica Argentina, el 30 de abril de 1948.

Señor Presidente,
Señor Embajador,
Señor Ingeniero Noni,
Señoras y Señores:

Honor y prestigio cobijan a los que desde afuera venimos a usar esta tribuna donde la ciencia y el talento de los hombres que organizaron y mantienen la Sociedad Científica Argentina, fijan rumbos al progreso de esta grande patria, y este honor y tal prestigio constituirían un estímulo para los que sin merecimiento alguno venimos a usar de ella.

La circunstancia de hacer escuchar mi voz en este recinto tutelar de la cultura débese a la amistad con que me honra el distinguido Ing. don Enrique Chanourdie y a la benevolencia con que su Presidente el Ing. Páez ha querido prestarle auspicio; expreso, pues, mi rendido agradecimiento a ellos así como mi reconocimiento cálido al Ing. Noni que se ha dignado presentarme ante tan selecto auditorio.

El tema elegido lo trataré desde puntos de vista generales sin ingresar en detalles técnicos o pormenores que sólo contribuirían a obscurecer la perspectiva general y la apreciación de conjunto de las comunicaciones ferroviarias que deben establecerse de modo preferente entre Bolivia y la Argentina.

Para entrar en materia y en forma sintética debo referirme a las condiciones del transporte y a las vinculaciones de nuestra América Austral en siglos pasados.

Atlántico y Pacífico jamás fueron alcanzados por las poblaciones autóctonas y el gran imperio de los Incas en sus sucesivas expansiones apenas pudo avisorar la grandeza de la pampa cuando en sus conquistas sólo alcanzó las últimas estribaciones de la cordillera andina en la región de las provincias de Cuyo. La conquista española dejó incompleta su obra, pero el peninsular en su afán de buscar riquezas mitológicas aprovechó bien las vías ya establecidas por los incas pudiendo vencer la insuperable barrera de los Andes transmontándola de los llanos a la sierra, tal hicieron Ñuflo de Chaves e Irala. Ellos fueron los primeros que establecieron esta comunicación entre el Atlántico y el Pacífico venciendo la Pampa y los Andes.

Estabilizada la conquista las riquezas mineras del Alto y Bajo Perú crearon las rutas que desde Buenos Aires, pasando por Potosí, llegaban hasta Lima, estructurando de tal manera una unidad económica en un medio geográfico hostil y bravo para los rudimentarios métodos de transporte utilizados en aquella época. Obtuvieron y consiguieron las riquezas que ellos buscaban: oro, plata y otros minerales codiciados, mas la riqueza no es sólo esto, riqueza es también todo estado de la naturaleza exterior que se adapta a las necesidades del hombre, y asimismo todo procedimiento o mecanismo que hace que aquélla se adapte a sus propias necesidades o que el hombre se adapte a ella, en consecuencia, riqueza, es también el transporte, que acerca las ideas y los pueblos completando su economía, su civilización y su vida, en recíproca interdependencia. Emancipadas de la madre patria las colonias siguieron todavía, casi por inercia las condiciones de su organización colonial. Simultáneamente con su independencia política surgieron en el mundo nuevos procedimientos de transporte y el más destacado de ellos, el ferrocarril, fué inmediatamente desarrollado en los países con dominio de costa marítima, iniciando su transformación rápida y segura que les permitiría incorporarse al concierto de las naciones civilizadas.

El ferrocarril que avanzaba de los puertos al interior del Continente produjo en algunas naciones la ruptura total de su economía como pasó a Bolivia. Bolivia, cuando las dificultades del transporte eran las mismas en todos los confines de su territorio, mantenía un verdadero equilibrio de intereses entre la zona occidental cordillerana y la oriental de los llanos, con los productos de su pe-

queña agricultura y ganadería proveía los alimentos de las poblaciones mineras, pero, cuando el ferrocarril llegó del Pacífico a la Meseta Andina se produjo la ruptura de este armonioso equilibrio ya que las mercaderías del exterior traídas por ferrocarril costaban mucho menos que las similares del Oriente y valles interandinos, de tal modo, que la economía boliviana influida por las corrientes de tráfico hacia el Pacífico quedó dislocada del Oriente y Sur, tributarios del Atlántico. En 1925, merced a la cooperación de capitales argentinos, se pudo completar la línea ferroviaria de Atocha a Villazón que empalma en La Quiaca con la red de los Ferrocarriles Argentinos, recuperándose así la lógica y natural gravitación hacia la Cuenca del Plata, o sea el lado Atlántico. Desde entonces ha sido preocupación de los Gobiernos de estas dos Repúblicas hermanas complementar esta vinculación de intereses con nuevas rutas que sean como abrazos de fraternidad que subiendo de los llanos llegasen hasta el corazón de Bolivia, y en 1937 se estableció el primer acuerdo ferroviario entre Bolivia y la Argentina para la construcción de un ferrocarril que partiendo de Yacuiba llegase a Villa Montes, en 1941 se firmó un nuevo tratado definiéndose la construcción del ferrocarril Yacuiba a Santa Cruz, que mediante notas reversales en 1945 fué ampliado a la construcción del ferrocarril Boyuibe a Tarabuco y Sucre; estas obras están en marcha administradas por los Ferrocarriles del Estado bajo la atinada e inteligente dirección del ingeniero argentino Sr. Francismo Mora, que ha puesto y pone al servicio de ellas todo el contingente de su capacidad y honradez. El Ferrocarril de Yacuiba a Santa Cruz constituye un nuevo eslabón del panamericano central que permitirá completar la unión del Amazonas con el Plata a través del corazón de Bolivia siempre que se construyera el Ferrocarril de Cochabamba a Santa Cruz.

Ahora bien, el último tratado comercial, económico y cultural suscripto en La Paz en el año 1947 entre la Argentina y Bolivia, en el Plan de Obras Públicas que se promete desarrollar con los fondos del empréstico argentino que alcanzan a la suma de seiscientos millones de pesos, se enuncian las siguientes obras:

Plan ferroviario: *a*) Ferrocarril de Orán, Tarija, Cinti Potosí; *b*) Ferrocarril de Sucre a Uncía; *c*) Ferrocarril de La Paz al Beni; *d*) Ferrocarril Santa Cruz - Cochabamba.

Plan de Obras Viales: Camino de La Paz a Apolo, Potosí-Sucre-Cochabamba y Oruro-Cochabamba.

Plan de obras de riego: Obras de riego en el río Pilcomayo, en Tacagua y Tamborada. Analizando los costos de estas obras es indudable que los seiscientos millones de pesos no alcanzarán a cubrir su completa ejecución, ya que solamente los ferrocarriles propuestos que significan más de mil cuatrocientos kilómetros de construcción de vías absorberían casi la totalidad del empréstito, corresponde pues, estudiar y calificar con cuidadosa consideración los proyectos en los que deban invertirse los recursos argentinos, así en materia ferroviaria, lógicamente deberán considerarse de modo preferente aquellos que tengan relación de continuidad con las vías en construcción en virtud de los tratados mencionados, de entre ellas se destacan dos como obras que completen esta vinculación ferroviaria entre las dos repúblicas que son el ferrocarril de Santa Cruz a Cochabamba y de Sucre a Uncia, ambas líneas arrancarán de las ciudades terminales a donde se llegue con los ferrocarriles que se construyen por la Comisión Mixta Ferroviaria Argentino Boliviana.

Conviene ahora considerar la construcción del Ferrocarril Cochabamba a Santa Cruz previsto en el plan. Este ferrocarril que realizará la unidad económica de Bolivia y estructurará una unidad orgánica del país, no es solamente una obra de carácter nacional sino que también continental, así se reconoció por el Congreso de Cancilleres de la Habana en el año 1940 y el Congreso Panamericano de Ferrocarriles de Montevideo, que al declarar la importancia internacional de la obra recomendaba su financiación por los países directamente interesados en ella. Y bien, tal obra interesa tanto al Brasil como a la Argentina porque completa el último tramo que falta del Ferrocarril Interoceánico que va de Santos a Arica, y, además, permite enlazar la red fluvial del Amazonas con los diversos medios de transporte hacia el lado del Plata, o sea acerca de las ricas regiones tropicales del noroeste boliviano a los mercados de consumo de la República Argentina. Esta obra ferroviaria fué considerada en el tratado entre Brasil y Bolivia suscripto en 1938 para la construcción del Ferrocarril Corumbá a Santa Cruz, y puntualizada nuevamente en notas reversales de ambos gobiernos en 1943. Al parecer, existiría una interferencia de propósitos de cooperación a Bolivia entre Brasil y Argentina; sin embargo, siendo el punto de vista de ambos países esencialmente panamericano

y de colaboración al desarrollo de Bolivia es indudable que la construcción de ella será reservada y realizada por el país que en la actualidad se encuentre en mejores condiciones para llevarla a cabo, no existen pues temores en la opinión pública boliviana de que condiciones tan auspiciosas bajo las que se están desenvolviendo nuestros vínculos de fraternidad con los hermanos del Sud no sean ellos que se decidan a hacerla una realidad, porque tal es el anhelo del país todo y porque se funda en el compromiso adquirido por el ilustra Presidente argentino, General Perón, con motivo de su entrevista con el presidente boliviano en Yacuiba al declarar a los representantes de las Cámaras Legislativas de Bolivia, que su Gobierno llevará a cabo tan transcedental y meritísima obra para la unidad continental.

El Ferrocarril Cochabamba a Santa Cruz tiene una extensión de 636 kilómetros, con un ramal de 56 kilómetros destinado a empalmar la red ferroviaria de Bolivia con los ríos navegables del Beni afluentes del Amazonas, de tal kilometraje se encuentran construídos y en explotación 128 kilómetros y en curso de trabajo, con la plataforma lista par enrielarse, 53 kilómetros más; el presupuesto de lo que queda por hacer incluyendo material rodante alcanzará a un máximo de ciento cincuenta millones pesos moneda nacional, suma que constituye apenas el 25 % del empréstito argentino para obras públicas de Bolivia y que indudablemente será financiado de modo seguro y fácil por la República Argentina. No concurriendo las mismas circunstancias en el caso de la cooperación del Brasil, es innegable, que nada hay más conveniente para Bolivia que desarrollar esta obra como la primera de las que figuran en el tratado y al hacerlo así evidente es, que los vínculos de fraternidad entre las dos repúblicas, sus relaciones económicas y culturales se afirmarán sobre bases estables y definitivas de modo de reconstruir en el presente la unidad de los períodos de emancipación cuando sangre argentina y boliviana regaron el sueldo del Alto Perú confundiéndose en una misma, para conseguir su libertad política, y ahora la nueva libertad, la libertad económica será también efectiva en forma ineludible con el apoyo desinteresado que nos preste la República Argentina. Un ilustre estadista de este país, sentó el siguiente aforismo: « Gobernar es poblar », simbolismo que hoy día se completa con este otro: « Poblar es transportar », y el gran Presidente que hoy día conduce los destinos de esta grandiosa Repú-

lica no sólo quiere extender los beneficios de su política en territorio patrio, sino que abarcando más allá, dando ejemplo con hechos reales y positivos de los sentimientos de confraternidad y cooperación que se discuten y se establecen en los Congresos Panamericanos, está realizando ya tales propósitos en forma que compromete la gratitud de los pueblos de Bolivia y su agradecimiento por los hermanos del Sud que conjuncionados en una misma voluntad prestan su caloroso apoyo a esta obra de trascendencia y solidaridad de nuestra América India.

El Ferrocarril de Sucre a Uncia constituye la prolongación natural del Boyuibe-Tarabuco-Sucre hacia la región caracterizada como la más rica en estaño de entre las zonas mineras de Bolivia. Se calcula que tendrá una longitud aproximada a 220 kilómetros con un costo estimado de 120 a 130 millones de pesos argentinos, no existen aún estudios definitivos habiéndose sí realizado reconocimientos preliminares que permiten dar los datos citados. Dada las características con que se construirá este ferrocarril, así como la de los proyectos de Yacuiba a Santa Cruz y Boyuibe a Sucre constituirá una línea contralor y reguladora de las tarifas que se aplican en las líneas del Altiplano y permitirá seguramente un transporte económico de las mercancías y carga que se movilicen por esta ruta tanto en el sentido descendente como ascendente, o sea permitirá un intercambio más económico de los productos bajo su zona de influencia, lo que significa que los fletes particularmente para el estaño que salga de Bolivia hacia la Argentina, serán más bajos que por la línea Uncia-Uyuni-La Quiaca, circunstancia que comprueba la conveniencia de su construcción en segundo término dentro del plan ferroviario.

El ferrocarril de La Paz al Beni tiene importancia para Bolivia porque comunicará la capital sede del gobierno con los ríos navegables tributarios del Amazonas, permitiendo un acceso fácil de toda la zona hacia el Atlántico por el puerto de Belén de Pará en el Brasil, su longitud aproximada, pues tampoco existen estudios definitivos, se estima en alrededor de 400 kilómetros y su costo en 140 millones de pesos argentinos.

Finalmente el Ferrocarril Orán-Tarija-Potosí enunciado también en el tratado, constituye la vía paralela e intermedia entre los ferrocarriles que desde La Quiaca y Yacuiba ingresan a Bolivia. A fin de no superponer zonas de inflencia de estos ferrocarriles es ne-

cesario para llevarlo a cabo, un estudio cuidadoso de la ruta, que contemple sobre todo la unión de la ciudad de Tarija con alguna de las líneas ferroviarias del país. Actualmente es imposible dar una idea de su extensión y costo.

Los beneficios para Bolivia de la red ferroviaria propuesta quedarían casi colmados interpretando el espíritu mismo del tratado con las dos primeras líneas mencionadas, transformando a Bolivia de un país semi-colonial que es hoy, asfixiado por su mediterraneidad, que sólo vive de sus industrias extractivas y caracterizado por lo tanto como una nación monoproductora, en un organismo económicamente estructurado, geográficamente unido y que pueda diversificar su producción de modo tal que el esfuerzo de sus hijos estimulado por la cooperación argentina la transformen en nación digna de respeto y aprecio.

Y en esta voluntad sincera de ambos países contamos los bolivianos con la patriótica e inteligente acción de nuestro Embajador don Gabriel Gosalvez, gran amigo de esta República hermana que pondrá afecto, perseverancia y fe en la realización de tan altos y caros propósitos, que si hoy se mantienen en el plano de los ideales, en un futuro próximo se traducirán en realidades promisoras que marquen una nueva etapa en la vida de Bolivia y en las fraternales relaciones de su pueblo con la poderosa nación Argentina, cuyo Gobierno, con-substanciado de la conciencia cívica y americanista que late en todo corazón argentino, está traduciendo en obras reales e imperecederas el mensaje que en julio del año último dirigió el Presidente de la Nación proclamando la paz y la justicia en las relaciones de los pueblos y de la humanidad. El Gobierno argentino, está pues, cristalizando en trabajo y bienes, que llegan y golpean el sentimiento boliviano, una verdadera política de buena vecindad que en muchas otras oportunidades sólo existe por lo que de ella se habla.

Y en tal afán la Argentina cuenta con una extraordinaria pléyade de profesionales, particularmente ingenieros, quienes, así como sus mayores contribuyeron a estructurar una República próspera, hoy también pondrán todo su espíritu y toda su capacidad al servicio de las obras que deben unir nuestras patrias. Y de entre las organizaciones de carácter técnico bajo cuyo impulso e iniciativas se han plasmado en realidades muchos proyectos americanistas, debo mencionar al Congreso Panamericano de Ferrocarriles, que,

en los últimos tiempos, dirigido e inspirado por grandes personalidades argentinas, calificó el ferrocarril Cochabamba-Santa Cruz en Bolivia como necesario a la obra de estructuración continental y al desarrollo de las relaciones económicas entre ambos países ya que en sentido vertical de Norte a Sud constituirá la columna vertebral de una ruta panamericana, y en el otro de Este a Oeste la intercontinental y más larga en nuestro hemisferio austral con más de 4.000 kilómetros entre Santos (Brasil) y Arica (Chile). Cuenta, entonces, tal obra, con el apoyo de la entidad máxima americanista en materia ferroviaria, que es el Congreso Panamericano de Ferrocarriles.

LAS APLICACIONES DE LA MECANICA DE LOS SUELOS A LOS PROBLEMAS DE LAS FUNDACIONES

POR EL ING.

ARMAND MAYER

Conferencia pronunciada en la Sociedad Científica Argentina el 11 de junio 1947.

Cuando en 1938, el señor Lehuerou-Kerisel finalizó, precisamente en el Instituto Técnico de la Construcción y Obras Públicas, su brillante informe sobre la fuerza portante de los pilotes al que me referiré hoy repetidamente, tuve la oportunidad de comunicarle que se estaban realizando algunos ensayos que arrojarían más luz, tal vez, sobre la resistencia a la hinca de los pilotes en los terrenos compactos.

Han transcurrido ocho años desde entonces y durante esos ocho años tuvieron lugar muchos acontecimientos que desviaron nuestra atención del estudio de los pilotes y la mecánica de los suelos. Sin embargo, esos ensayos se llevaron a cabo realizándose posteriormente otros que tal vez nos permitan orientarnos mejor en una materia que es, sin duda alguna, una de las más delicadas del arte de construir. Hoy quisiera referirme a esos ensayos y aprovecho esta oportunidad para agradecer muy especialmente a los señores Florentin y L'Hériteau y a todos aquellos que tuvieron a bien proseguir esos trabajos mientras yo operaba en otros terrenos, llegando a los resultados que hoy me propongo exponer ante vosotros.

Después de una revisión de los resultados teóricos, examinaremos diversas series de ensayos y trataremos de determinar en primer lugar los resultados a que permite llegar el cálculo de la resistencia en la punta y luego los que se aplican al frotamiento lateral. Previamente a todo estudio cuantitativo, trataremos de realizar, en ambos casos, un análisis cualitativo del fenómeno, que nos revelará si tenemos o no derecho a efectuar cálculos y aplicar fórmulas basadas en hipótesis bien definidas y que, en algunos casos pueden no ser satisfechas.

I. REVISION DE LAS NOCIONES TEORICAS

a) La resistencia en la punta. Deformación elástica y ruptura. — Si, recurriendo a los métodos clásicos de la plataforma cargada, se efectúa un ensayo de resistencia del suelo y se registran en un gráfico los hundimientos en función de las cargas en el caso de un suelo al que se supone homogéneo en profundidad, por lo menos en una altura bastante grande en relación al diámetro de la plataforma, se obtiene una curva dividida en tres secciones. La primera corresponde a deformaciones del suelo que ofrecen características tales que, al quitar la carga, la plataforma vuelve progresivamente a su posición inicial. Estamos en el terreno de las deformaciones elásticas. Si aumentamos las cargas, aumentan las deformaciones; la curva se inclina sobre la horizontal y si se descarga la plataforma, vuelve a su posición sólo parcialmente. Es la zona de las deformaciones plásticas. A partir de un momento dado, las deformaciones adquieren una amplitud mayor y, teóricamente, bajo una carga dada, la plataforma se hunde indefinidamente. En realidad, no sucede rigurosamente así, pues a medida que la plataforma se hunde, las sucesivas capas de terreno que encuentra a su paso tienen cargas iniciales superiores, es decir una tasa de consolidación más importante y por consiguiente una resistencia superior. En lugar de ser una vertical, la curva de las deformaciones permanece inclinada aunque tienda hacia la vertical.

El límite elástico y el límite de ruptura de un suelo cuyas características son φ, ángulo de frotamiento y C, cohesión, fueron calculadas en el caso de una carga que tenía la forma de una pared indefinida y en el caso de la carga circular plana.

En el caso de una pared indefinida, el límite elástico está representado por la fórmula que se atribuye corrientemente a Froelich, aunque haya sido dada con anterioridad por el Sr. Pigeaud en su curso en la Escuela de la Dirección de Caminos.

Esa fórmula establece el límite Q de las deformaciones elásticas de un suelo cuya carga inicial, teniendo en cuenta la presión de Arquímedes, es ϱ_0 y las características C y φ. Esa fórmula es:

$$Q = \frac{\pi\,(p_0 + C \operatorname{cot} \varphi)}{\operatorname{cot} \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}$$

y fué aplicada por el Sr. Ferrandon (*) al caso de las fundaciones circulares. En ese caso se obtiene:

$$Q = \frac{C \cot \varphi + p_0}{\frac{1}{2} \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{\operatorname{sen} \varphi} \sqrt{\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{3 - \operatorname{sen} \varphi}} - 1}$$

La fórmula del límite de ruptura de un suelo cuya carga inicial es p_0 fué establecida por el Sr. Caquot y es

$$p = p_0 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi}$$

en el caso de una fundación rectilínea indefinida de poca profundidad. El Sr. Caquot demostró que ese valor podía aplicarse al caso de la fundación circular profunda mediante la intervención del factor $e \frac{\operatorname{tg} \varphi}{5}$. El límite de ruptura de un suelo de características C y φ en el caso de una fundación circular profunda es

$$Q = p_0 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} e \frac{\operatorname{tg} \varphi}{5}$$

Esos son los valores teóricos del límite elástico y del límite de ruptura de un suelo bajo una carga dada y que se supone circular. Más adelante veremos de qué modo se verifican esos valores en el caso de los pilotes.

b) EL FROTAMIENTO LATERAL. — El estudio teórico de la resistencia al hundimiento debida al frotamiento lateral aun en la hipótesis simplificada del macizo homogéneo e isótropo es más difícil que el de la resistencia en la punta. No ha llegado a nuestro conocimiento que se haya podido hallar, aun en el caso del macizo sin cohesión, una expresión matemática del límite elástico de la resistencia a la hinca de un pilote, debida al frotamiento lateral, aunque la experiencia confirme que ese límite existe. Pero, en cambio, en el caso del macizo sin cohesión, fué posible calcular el valor del límite de ruptura de esa resistencia. Ese límite es $P \times \frac{1}{2} \omega h^2 K \operatorname{tg} \varphi$ en el

(1) Ver nomograma.

que P es el perímetro de la superficie de fundación, ω el peso específico del material, K un coeficiente igual a la componente normal de la presión que se ejerce sobre un elemento de superficie lateral a la profundidad unidad. El cálculo del coeficiente K constituyó el tema de una memoria del Sr. Bonneau, Presidente de la *Sociedad de Plataformas metálicas* y que fué publicada en los *Anales de la Dirección de Caminos* de 1938. Se lo puede dar por conocido, así como el valor de la resistencia al frotamiento lateral en un medio pulverulento de ángulo de rozamiento interno φ. El cuadro que damos a continuación reproduce las cifras establecidas por el señor Bonneau:

φ	10	15	20	25	30	35	40	45
K	1,63	2,13	2,86	3,94	5,64	8,44	13,30	22

El cálculo del frotamiento lateral en un medio compacto y al que se supone homogéneo, isótropo e indefinido en la parte inferior puede corresponder al cuadro anterior si, en primer lugar, se supone que el medio está consolidado, es decir sin presión propia de hinchamiento y si se admite, basándose en la experiencia, que en caso de ruptura de equilibrio, ésta se produce por resquebrajamiento en el interior del macizo y no en contacto con el pilote y el terreno. Aplicaremos el teorema de los estados correspondientes y admitiremos que la cohesión pueda ser reemplazada por una presión exterior, aplicada al medio, y de intensidad

$$H = C \cot \varphi.$$

A una profundidad h, en un medio pulverulento de peso específico ω, la fuerza que actúa sobre un elemento de pilote en el momento de la ruptura de equilibrio es

$$F = K \omega h$$

Si el medio es compacto, se tendrá una fuerza F_1 y un coeficiente K_1 diferente de K.

Si aplicamos el teorema de los estados correspondientes obtendremos

$$F_1 + C \cot \varphi = K (\omega h + C \cot \varphi)$$

$$F_1 = K \omega h + C \cot \varphi (K - 1) .$$

Si ϱ es la resistencia a la ruptura correspondiente al frotamiento lateral, es decir, por hipótesis, el resquebrajamiento del terreno, tendremos:

$$\rho = C + F_1 \operatorname{tg} \varphi = C + [K \omega h + C \cot \varphi (K - 1)] \operatorname{tg} \varphi = \\ = KC + K \omega h \operatorname{tg} \varphi,$$

$$\rho = K (C + \omega h \operatorname{tg} \varphi).$$

La resistencia a la ruptura debida al frotamiento lateral de un pilote hincado en un medio de cohesión C y de ángulo de frotamiento interno φ se deduce de la resistencia al corte del medio considerado, multiplicando esta última por un factor igual al valor de la componente normal de la presión que se ejercería a la profundidad unidad sobre un elemento de superficie lateral de pilote en un medio pulverulento que tiene igual ángulo de frotamiento interno.

El caso del medio no consolidado se deduce del anterior observando que, como la ruptura es un corte del medio que rodea al pilote, la resistencia a la ruptura se expresa por la fórmula:

$$f = C + F \operatorname{tg} \varphi$$

en la que F es la presión que sufre el pilote a causa del macizo que lo rodea. Esa presión, en el caso de un macizo en vías de consolidación, se descompone en dos: una, que se ejerce en reposo sobre todo elemento introducido en el interior de un macizo de arcilla, a causa de la presión hidrostática del agua que contiene y la otra, que tan sólo se moviliza a causa del movimiento relativo del pilote con relación al suelo y cuya fórmula hemos indicado más arriba. La resistencia a la ruptura del medio no consolidado se deduce de la del medio consolidado que tiene las mismas características agregando a ésta la acción de la presión de hinchamiento del terreno que actúa normalmente sobre la pared de la columna.

Estos son los métodos pue permiten calcular la resistencia a la hinca de un pilote, debida al frotamiento lateral del medio. Los ensayos que hoy nos proponemos describir revelan la importancia de la hipótesis que sirve de base a esos cálculos, es decir la homogeneidad del terreno. En todos los casos serán necesarios un reconocimiento profundo y un estudio cualitativo del fenómeno antes de aplicar fórmulas o efectuar cálculos. Y sólo cuando ese reconocimiento prue-

be que las hipótesis se satisfacen se podrá proceder a una aplicación de la teoría.

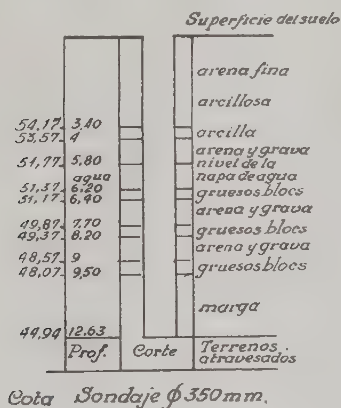
II. INFORME SOBRE LOS ENSAYOS

1. Ensayos del Sr. Léhuerou-Kérisel. — El Sr. Kérisel verificó los cálculos de resistencia a la ruptura tanto en la punta como de frotamiento lateral en el caso de pilotes de modelo reducido hincados en un material pulverulento tipo. Operó con pilotes de diámetro pequeño, 2,7, 4,25 y 5 cm compuestos de dos partes: un tubo cilíndrico que constituye la superficie exterior del pilote, y un segundo tubo que se desliza en el interior del primero y cuya parte inferior, maciza y en forma de cono, constituye la parte del pilote. Se registran las hincas del pilote en función de las cargas aplicadas. La curva de representación hace aparecer un punto anguloso correspondiente al punzonamiento del material. Los ensayos demostraron que los valores de la carga que producen el punzonamiento eran, con gran aproximación, los mismos expresados por las fórmulas que dimos más arriba, tomando para α, los ángulos de frotamiento, en función de la densidad determinada por Léhuerou-Kérisel en una serie de ensayos anteriores.

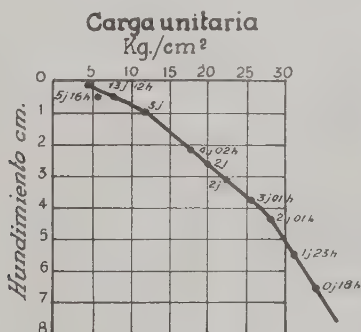
2. Ensayos de Donzére. Resistencia en la punta. — En ocasión de los estudios realizados por la Compañía Nacional del Ródano para la implantación de la usina de Donzère, dicha Compañía encargó a nuestro laboratorio que efectuara ensayos de resistencia de una capa de marga plástica situada a unos diez metros de profundidad. Esto nos permitió efectuar ensayos de resistencia en la punta de un pilote de unos diez metros de longitud introducido en la marga. El pilote fué descendido en un receptáculo cuyas dimensiones fueron fijadas de tal modo que se evitó todo contacto entre la columna y la pared sin permitir sin embargo un reflujo de la marga entre los bordes del agujero y la base del pilote. Las características de la marga fueron, además, cuidadosamente determinadas. Se aplicó la carga por medio de gatos que tenían su punto de apoyo en una viga anclada en el suelo a una distancia suficiente del pilote como para que el efecto de los anclajes sobre el pilote de ensayo fuera ínfimo. El ensayo comportaba un aumento progresivo de la carga del pilote con observación de la estabilidad de éste

bajo cada una de las cargas individuales y observación de los hundimientos resultantes.

GRÁFICO Nº 1



El diagrama de los ensayos que dan los hundimientos en función de las cargas revela una curva constituída por tres secciones de recta. La primera va hasta 11 kg/cm², la segunda hasta 28, la ter-



cera corresponde al punzonamiento del terreno y es prácticamente ilimitada.

Hemos tratado de interpretar esos resultados en función de las características del suelo determinadas con sumo cuidado en mues-

tras intactas de grandes dimensiones extraídas en la base de perforación antes de la colocación de la columna. Los ensayos dieron para la marga al nivel de la punta (término medio de cuatro muestras).

$$C = 2\ \mathrm{t/m^2} \quad \varphi = 27^\circ$$

En primer lugar buscamos el límite del terreno elástico. Los ensayos previos mostraron que el volumen de los huecos de la marga era igual a 0,4; el peso específico de los granos de 2,7 de modo que el peso específico de la marga sumergida resulta:

$$(1 - V)\,(2{,}7 - 1) = 1{,}03.$$

Para las arenas admitimos un peso específico aparente de 1,85 con un peso específico de los granos de 2,65 y el peso específico resulta:

$$\text{fuera del agua: } (1 - V)\,2{,}65 = 1{,}85$$
$$\text{sumergido: } (1 - V)\,(2{,}65 - 1) = 1{,}15$$

El corte del sondaje da entonces

$$p_0 = 5{,}8 \times 1{,}85 + 3{,}70 \times 1{,}15 + 3{,}1 \times 1{,}03 = 18{,}1\ \mathrm{t/m^2}$$

La fórmula del Sr. Ferrandon

$$q = \frac{C \cot \varphi + p_0}{\frac{1}{2}\,\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{\operatorname{sen} \varphi} \sqrt{\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{3 + \operatorname{sen} \varphi}} - 1}$$

da para la carga límite después de efectuados todos los cálculos

$$q = 105\ \mathrm{t/m^2}$$

Ese valor confirma notablemente el valor experimental expresado más arriba. Calculemos ahora el límite del punzonamiento que puede deducirse de la ecuación

$$p + h + C \cot \varphi = (p_0 + C \cot \varphi)\,\mathrm{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)\, e^{\pi\,\mathrm{tg}\,\varphi}\, e\,\frac{\mathrm{tg}\,\varphi}{5} + h_0$$

en la cual:

p es la carga aplicada al fondo de la perforación (peso de la columna del pilote y sobrecarga);

h_0 es la altura de la napa de agua en el terreno, supongamos 6,80 m;
h la altura de agua en la perforación, supongamos 2,80 m.

Con

$$C = 2 \text{ t/m}^2$$

resulta

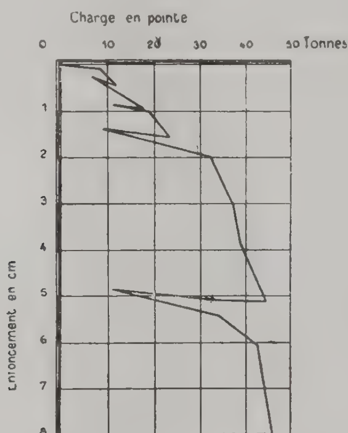
$$p = 305 \text{ t/m} ,$$

que corresponde aproximadamente al 10 % del valor hallado en el ensayo. Debemos señalar que a causa de la rápida variación del factor $e^{\operatorname{tg} \varphi}$ en las proximidades de los 30°, no se debe buscar una concordancia absoluta que sería incompatible con la exactitud de la medida del ángulo φ. Pero así y todo, la concordancia no deja de ser notable.

3. Ensayos de Gennevilliers. Resistencia en la punta. — Informaré a continuación sobre los nuevos ensayos ejecutados por cuenta de la « Unión de Electricidad », por la Sociedad E. F. T. H. bajo la dirección del Sr. Cambefort, ingeniero de esa sociedad, con el fin de conocer exactamente la fuerza portante en los pilotes de las fundaciones de la nueva central y las condiciones de repartición de la carga a lo largo del pilote. El pilote usado para los ensayos fué equipado en forma tal que se pudiera medir independientemente la resistencia en la punta y el frotamiento lateral. Para esto, la plataforma fué separada del pilote por interposición de un gato chato, sistema Freyssinet, unido mediante un tubo a una bomba y un manómetro. Por otra parte, se obtuvo el hincamiento del pilote de ensayo por medio de gatos colocados en la parte superior, apoyados sobre una viga anclada en el suelo a una distancia suficiente del pilote de ensayo para que los anclajes no ejercieran ninguna influencia sobre las lecturas. El Sr. Cambefort, encargado de los ensayos, había pertenecido al Laboratorio de Estudio de los Suelos ejecutando por cuenta de éste los ensayos de Donzère lo que permitió, partiendo del dispositivo de Donzère, llegar a una solución más satisfactoria. Por otra parte, gracias al dispositivo de la plataforma independiente, se pudo medir sucesivamente la resistencia en la punta y el frotamiento lateral; por otra parte, gracias a células piezométricas de cuerda sonora, sistema Coyne, introducidas en el pilote, se pudo determinar por lectura directa la carga vertical presión en diversos puntos de la columna y deducir la presión transmitida al terreno. (Ver gráfico 2). Los pilotes fueron previs-

tos para transmitir la carga por la punta a una capa de arena y grava situada a una profundidad de 9 a 10 m. Por encima de esa capa el suelo, en la superficie, estaba constituído por 3 m de escoria industrial, 3 m de marga bastante compacta, 1 m de arena fina amarilla y finalmente 2 m de marga gris turbosa muy compresible.

GRÁFICO Nº 2



Los ensayos de resistencia en la punta confirmaron los resultados de los ensayos de Donzère sobre los que informamos anteriormente. Las curvas de hundimiento, sólo en la punta, comportan dos puntos angulosos. El primero corresponde al límite de las deformaciones elásticas del subsuelo como lo revelan las cargas y descargas sucesivas que se pudo efectuar en ese terreno. Se extiende de 0 a 9 t aproximadamente. Luego comienza el terreno plástico, de 9 a 33 toneladas y finalmente el punzonamiento a partir de 35 t. Ante la imposibilidad de medir el ángulo de frotamiento de las arenas y grava del lugar se trató de calcular, aplicando la fórmula del Sr. Caquot y conociendo la carga de punzonamiento del terreno, el ángulo de frotamiento correspondiente y utilizar el valor hallado de ese modo para determinar el límite de las deformaciones elásticas mediante la fórmula del Sr. Ferrandon.

Partiendo de la fórmula

$$F = S\, p\, \mathrm{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) e^{\pi\, \mathrm{tg}\, \varphi}\, e\, \frac{\mathrm{tg}\, \varphi}{5}$$

en la que S, sección recta del pilote, es igual a 0,104 m² y p, carga del terreno al nivel de la punta teniendo en cuenta la presión hidrostática, es igual a 7,5 t/m² con $F = 35$ t, resulta que $\varphi = 36°$.

La fórmula del Sr. Ferrandon permite deducir el límite del campo de las deformaciones plásticas.

$$q = \frac{p}{\frac{1}{2}\,\frac{1 + \operatorname{sen}\varphi}{\operatorname{sen}\varphi}\sqrt{\frac{1+\operatorname{sen}\varphi}{3+\operatorname{sen}\varphi}} - 1} = 79\ p\ \mathrm{t/m^2}$$

Teniendo en cuenta la carga del terreno al nivel de la punta, resulta que la carga límite es

$$q_e = (79 + 7{,}5) \times 0{,}104 = 9\ \mathrm{t/m^2}.$$

Volvemos a encontrar entonces el valor hallado experimentalmente, lo que constituye una verificación muy interesante de las fórmulas de fuerza portante de las funciones circulares.

Se puede deducir de estos tres ensayos efectuados en condiciones muy diferentes, en terrenos que varían desde la arena de Fontainebleau a la marga compacta, los primeros en una escala reducida de 1 a 10 y los demás en tamaño real, que las fórmulas teóricas indicadas más arriba corresponden perfectamente a la fuerza portante en los pilotes debida a la resistencia en la punta.

La única hipótesis posible es la homogeneidad del material que sirve de soporte y al que se supone indefinido. Es evidente que las fórmulas seguirán siendo correctas si las sucesivas capas halladas perpendicularmente a la punta de los postes aumenta en resistencia a medida que aumenta la profundidad. Sería diferente si hubiera capas más comprensibles en profundidad. Se registraron muchos fracasos en el caso de postes hincados en capas resistentes situadas por encima de capas más compresibles. Ante todo es indispensable efectuar un reconocimiento completo de la naturaleza del terreno en profundidad antes de aplicar fórmulas que tienen valor sólo en las hipótesis para las cuales fueron establecidas.

4. Resistencia debida al frotamiento lateral. Ensayos de Gentilly. — *a*) *Generalidades sobre los terrenos sedimentarios no consolidades.* — Antes de analizar los ensayos de pilotes efectuados por nuestro laboratorio en la arcilla plástica de la región parisiense de Gentilly, conviene decir algunas palabras sobre los terrenos sedi-

mentarios no consolidados, es decir sobre los terrenos para los cuales la presión del agua que contienen es diferente de la que correspondería únicamente a la carga de los terrenos subyacentes. El caso es relativamente frecuente no sólo a causa de la consolidación natural de los suelos de formación reciente sino también, como lo veremos más adelante, en razón de las condiciones mismas de carga de éstos.

Consideraremos en primer lugar el caso de los linos y arcillas en vías de estabilización que es clásico pero cuya importancia se subestima a menudo. El limo en vías de estabilización se comprime progresivamente bajo su propio peso por eliminación del agua que contiene. Si a través de una capa de esta naturaleza se introduce una serie de pilotes cuya punta se clava en una capa de arena subyacente, los pilotes permanecerán firmes con relación al limo que continuará su desplazamiento.

El desplazamiento relativo del limo con relación al pilote movilizará el frotamiento lateral cuyo efecto, en este caso, será el de sobrecargar la punta y no descargarla como se admitía hasta ahora. En ese caso es muy difícil prever la intensidad de la sobrecarga. El movimiento lento del limo con relación al pilote no corresponde físicamente a lo que sucede cuando hay equilibrio de empuje en el interior del macizo, es decir formación de superficies de deslizamiento a lo largo de las cuales actuará la resistencia al corte del terreno.

Más adelante veremos un caso particular en el que la transmisión de la carga al pilote fué objeto de mediciones. En general, en todas las regiones de formación reciente, como Holanda, es indispensable tener en cuenta el efecto de consolidación de las capas superiores y comprimibles cuando se calcula la carga que será transmitida a la punta de los pilotes destinados a sostener un edificio.

Otro caso que se produce particularmente en la arcilla plástica de la región parisiense es el de algunas arcillas en las cuales cargas antiguas desarrollaron presiones hidrostáticas diferentes a la carga de los terrenos superficiales y que no han recuperado aún el agua intersticial que correspondería a su carga actual.

Todo lo que dijimos sobre las capas comprimíbles reposa sobre la hipótesis de que esas capas están previamente estabilizadas y consolidades, es decir que la presión hidrostática en cada punto corresponde a la distancia de ese punto al nivel de la napa, como si

la arcilla fuera un material permeble, saturado de agua. Pero hemos visto que, a causa de una carga, la presión hidrostática de una zona determinada aumenta considerablemente, se produce un desgüe hacia las zonas no cargadas y ese desagüe dura indefinidamente amortiguándose poco a poco. Podemos concebir entonces que una capa compresible que en el transcurso de las edades geológicas estuvo sometida a presiones relativamente elevadas, pueda encontrarse aún hoy en busca de su equilibrio y que su presión hidrostática interna pueda ser superior a la presión de equilibrio definitiva. El hecho fué comprobado en diversas ocasiones y principalmente en ensayos en gran escala ejecutados con el concurso de los servicios de la ciudad de París, en una cantera subterránea de arcilla en Provins.

Sólo el examen de laboratorio por medio del edómetro permitirá determinar si nos encontramos o no en el caso de una arcilla consolidada. La arcilla no consolidada en presencia de agua, se hincha considerablemente en el edómetro. Si se la carga de inmediato con el objeto de evitar el hinchamiento, se llegará a equilibrar la presión de consolidación en el momento en que se comienza a obtener un efecto de compresión del material. Si esa presión corresponde a la presión hidrostática normal, la arcilla está estabilizada. Si es superior, significa que la presión interna es superior a la carga que soporta. Se dice que esa arcilla está en vías de consolidación.

b) *Descripción de los ensayos.* — Los Ensayos de Caminos del Sena, de Gentilly, fueron realizados a pedido del servicio de la Dirección de Caminos del Sena para tratar de dilucidar el problema del frotamiento lateral de los pilotes en la arcilla. El método elegido fué la medición de la resistencia a la extracción de elementos de pilotes de igual longitud introducidos a profundidades diferentes. No dejamos de advertir que el hecho de sustituir la extracción a la hinca nos conduciría, no a un valor exacto del frotamiento lateral, sino a un límite inferior de éste. Pero creímos que aún el conocimiento de ese límite inferior presentaría un interés suficiente como para justificar dichos ensayos y con más razón en el caso de la arcilla de Gentilly, ya que la influencia de la cohesión y de la presión de hinchamiento debían ser predominantes.

Los pilotes elegidos eran elementos de 40×40 cm y de 2 m de largo, idénticos y atravesados en toda su extensión por un

orificio circular. A la altura de la mitad, un anillo de fundición introducido en el hormigón, formaba una ligera saliencia en el interior del canal central. Para la hinca los elementos fueron superpuestos y alineados por medio de una guía central. El dispositivo de extracción estaba constituído por un tubo de acero en cuyo interior se deslizaba un caño terminado en un ovoide. La base del tubo estaba hendida longitudinalmente en una extensión de diez centímetros aproximadamente, siguiendo cuatro generatrices. El diámetro máximo del ovoide era igual al diámetro máximo del tubo. Uno y otro podían ser descendidos a través del canal central del pilote. Luego se ejerció un esfuerzo de tracción sobre el caño interior. El ovoide penetró en la base del tubo separando los cuadrantes que iban a aplicarse contra el reborde de los anillos. La experiencia demostró que en esas condiciones se podían ejercer esfuerzos de tracción superiores a 60 t. Para esto, se fijó el caño central a un marco de acero sostenido por dos gatos manejados por una bomba de agua. Para conocer el esfuerzo aplicado era suficiente leer la presión de los gatos. Un índice fijado al elemento en vías de extracción permitía además seguir los desplazamientos de éste.

Se efectuaron los ensayos en una cantera en la que la arcilla estaba casi a ras del suelo. Además, la capa de arcilla era de una homogeneidad suficiente como para permitir mediciones significativas. Las características mecánicas del material fueron determinadas en cinco muestras escogidas entre 0,50 m y 9,20 m cada una de las cuales fué objeto de cuatro mediciones de corte a presiones que variaban entre 0,5 y 6 kg/cm^2. El ángulo de frotamiento interno estaba comprendido entre 9 y 11° y era prácticamente independiente del nivel de extracción de la muestra. La cohesión, por el contrario, variaba con la profundidad. Comprobamos que la cohesión podía representarse por medio de una expresión lineal en función de la profundidad h (en toneladas/metro cuadrado y metro)

$$C = 3{,}25 + \frac{1}{3} h$$

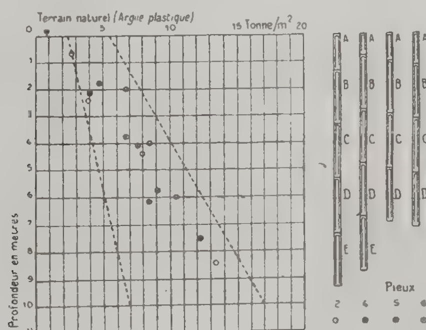
Evidentemente no estamos frente a resultados matemáticos ya que el valor hallado depende no sólo de la precisión de las mediciones sino también de la homogeneidad de la napa de la que se extrajeron las muestras. Medimos igualmente la presión hidrostática

interna de las muestras, es decir la carga que se les debía aplicar para evitar todo hinchamiento cuando las muestras eran puestas en contacto con el agua. Esa presión es la que se establece al cabo de un tiempo cuando, en el interior de una capa de arcilla, se introduce una vejiga unida a un manómetro y se llena la vejiga de líquido de modo que se adhiera perfectamente al terreno. La medición de la presión de hinchamiento fué realizada en todas las muestras extraídas y dió resultados comprendidos entre 1 y 2,5 kg/cm². Si trazamos un gráfico, los puntos se agrupan en torno a una recta que parte de 1 kg al nivel del suelo para llegar a los 10 m de profundidad, lo que dará para la presión de hinchamiento en toneladas/metro cuadrado una expresión lineal de la fórmula:

$$\omega_h = 10 + 1{,}4\, h.$$

c) *Resultado de los ensayos.* — En el gráfico 3 se hallará el resultado de los ensayos. En todos los casos los elementos son designados por las letras *A B C D E* yendo de arriba hacia abajo,. Los

GRÁFICO Nº 3



elementos *A* faltan en algunos casos en que la arcilla estaba recubierta por arena calcárea que fué sacada por razones de explotación. Además un accidente durante las maniobras hizo imposible la extracción de los elementos inferiores del pilote Nº 1 a consecuencia de la ruptura del dispositivo de extracción del segundo elemento.

Los ensayos demostraron en primer lugar que todos los elementos del pilote después de la extracción estaban rodeados de una pe-

lícula más o menos espesa de arcilla fuertemente adherida al hormigón. El espesor de esa película era variable, de 2 a 20 mm, pero se comprobó su existencia en todos los casos. La extracción en el caso considerado corresponde entonces a un corte de la arcilla y no al frotamiento de la arcilla contra el hormigón. Es ésta la verificación de un hecho constante, observado cada vez que se extrae un elemento de pilote introducido en un macizo coherente. Esto se explica por el hecho de que el hormigón, poroso, absorbe el agua del terreno y lo consolida en contacto con el pilote. En el momento de la extracción hay corte en el interior del terreno y no en contacto con el pilote.

d) *Ensayo de interpretación.* — Aplicaremos a los ensayos de Gentilly los resultados indicados al comienzo y trataremos de calcular cuál sería la resistencia a la ruptura debida al frotamiento lateral. Ya hemos señalado que, tratándose de una extracción la resistencia hallada sería inferior a la que se habría obtenido por hundimiento y que se podría calcular tomando para K el coeficiente de compresión. Pero tratándose de la extracción de elementos enterrados a una profundidad relativamente grande se puede admitir igualmente que la resistencia será superior a la que se obtendría tomando para el coeficiente K definido más arriba el coeficiente de empuje de Résal.

Para $\varphi = 10°$ el coeficiente de empuje es $K = 0,64$ y el de compresión $K = 1,63$.

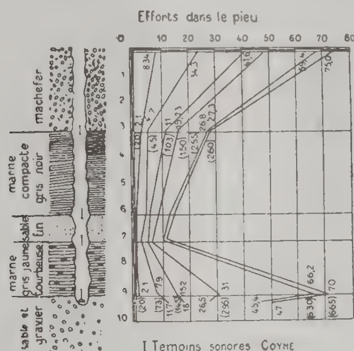
Si, teniendo en cuenta la presión de hinchamiento cuyo valor ya fué establecido, se trazan las rectas que indican la resistencia teórica al hundimiento y a la extracción en función de la profundidad, se obtienen dos elementos que encuadran a los puntos experimentales en forma muy satisfactoria.

En una arcilla homogénea como la de Gentilly los resultados teóricos se aplican perfectamente y por medio del cálculo se puede tener una idea bastante exacta de la resistencia al hundimiento debida al frotamiento lateral.

Medición del frotamiento lateral. Ensayos de Gennevilliers. — La segunda parte de los ensayos de Gennevilliers cuyo principio hemos indicado, rápidamente demuestra, desgraciadamente, que la teoría sólo resulta aplicable en los casos en que se satisfacen las hi-

pótesis relativas a los terrenos. Gracias a las células piezométricas colocadas en el interior del pilote en los niveles de separación de las diferentes capas, se pudo verificar las presiones sufridas por las diferentes secciones del pilote para cada una de las cargas aplicadas. El gráfico 4 muestra que los $^2/_3$ de la carga aplicada se

GRÁFICO Nº 4



transmiten a la capa superior de la escoria industrial. La mitad del último tercio, aproximadamente, se transmite a las capas superpuestas de marga y arena fina. Por el contrario, al llegar a la marga turbosa es el terreno el que aplica la carga al pilote restituyéndole una gran parte de lo quitado por las capas superiores.

Los experimentadores verificaron las mediciones comprobando que ningún error había falseado el juego de las células. Todas volvieron al punto cero cuando se descargó el pilote.

Eso significa que el frotamiento del pilote contra el terreno que obraba positivamente en las capas superiores nada o poco comprimibles, cambia de signo en la base, en la turba cuya compresión es superior al hundimiento del pilote al que se suma la contracción de éste bajo la carga. Esa capa al comprimirse ejerce sobre el pilote una presión hacia abajo que es imposible calcular, pero que es preciso tener en cuenta. De modo que, prácticamente, a pesar de la presencia en la parte superior de una capa cuyo frotamiento basta para soportar los dos tercios de la carga, ésta se concentra casi totalmente en la punta.

Este ensayo es extremadamente interesante, pues muestra de qué modo el frotamiento negativo nace en una capa comprimible, por encima de la cual se encuentran otras que lo son menos. Además muestra el peligro de los cálculos *a priori* y explica algunas divergencias entre los resultados experimentales y los valores que se obtendrían aplicando al frotamiento de los postes en capas comprimibles, fórmulas que pusieran en juego la compresión o el empuje, es decir, fuerzas que se desarrollan únicamente cuando hay movimiento relativo del pilote con relación a su soporte y formación de superficies de equilibrio límite en el interior del macizo.

El ensayo demuestra además que en el estudio de las fundaciones sobre pilotes es preciso elegir, según el terreno, entre el pilote flotante cuya punta penetra en una capa comprimible pero que se sostiene por frotamiento lateral y el pilote cuyo único objeto es el de transmitir una carga por la punta en cuyo caso no se debe hacer intervenir en el cálculo el efecto del frotamiento lateral sin tomar precauciones especiales.

Aplicación del cálculo de las fundaciones. — Los ensayos sobre los cuales informamos permiten analizar la resistencia al hundimiento de las fundaciones sobre pilotes y hacer algunas observaciones sobre la firmeza de los pilotes en los diferentes terrenos.

Los pilotes darán buenos resultados:

1) Cuando es preciso hacer reposar el peso de la construcción sobre una capa resistente profunda por encima de la cual hay un cierto número de capas comprimibles.

2) Para distribuir una carga colocada superficialmente sobre una cierta elevación de un terreno que es relativamente uniforme y demasiado compresible para poder soportar esta carga si fuera aplicada tan sólo superficialmente. Este es el caso de los pilotes flotantes.

El estudio de una fundación sobre pilotes implica siempre un reconocimiento completo del subsuelo. En el caso en que la carga reposa sobre una capa profunda y resistente ese reconocimiento tiene por objeto determinar el espesor de dicha capa con el fin de verificar que no se trata de un block por debajo del cual se encuentran otras capas comprimibles y medir sus características así como reconocer las capas superiores.

En el caso de los pilotes flotantes, el reconocimiento permite determinar las características de los terrenos entre los que el pilote ha de repartir la carga; permite además determinar la naturaleza de las capas inferiores y cerciorarse de que los hundimientos resultantes no excederán a aquellos para los que se calculó la superestructura.

Examinemos sucesivamente los diferentes casos:

1) *Caso en que la carga reposa sobre la punta.* — La experiencia demostró que la fundación debía ser calculada como si la carga total debiera reposar sobre la punta. Y por carga total es preciso entender en este caso no sólo la carga del edificio que deben soportar los pilotes, sino la que corresponde al frotamiento negativo de las capas que están por encima de la capa de la fundación y que puede alcanzar valores muy superiores a la de la construcción proyectada. Se nos presentó el caso de hangares construídos sobre pilotes que transmitían la carga, a través de una gran cantidad de capas de limo, a una capa de arcilla situada a 18 m de profundidad. Algunos pilotes que no estaban suficientemente anclados en la arcilla produjeron un hundimiento de 25 cm. Los ensayos demostraron que en lugar de transmitir sencillamente al terreno natural una carga constituída por el peso propio de los pilotes y el peso de la construcción, unas cincuenta toneladas por pilote, el frotamiento negativo del limo en vías de consolidación llevó esta carga a 140 t o sea 28 kg/cm^2 y la del Sr. Caquot a un punzonamiento de 40 kg.

Vemos entonces que una carga de 28 kg/cm^2 llegó muy lejos hasta el campo de las deformaciones plásticas quedando perfectamente explicado el hundimiento de 25 cm. Nada de esto habría sucedido si todos los pilotes hubieran sido anclados en una arcilla suficientemente compacta como para soportar la carga. Desgraciadamente, se detuvo un cierto número de pilotes en la parte superior de esta arcilla a un nivel en el que ésta era aún insuficientemente resistente y se produjo el accidente.

Es necesario entonces, un estudio de los terrenos que se encuentran por encima de la capa resistente para saber si se trata de suelos consolidados o en vías de consolidación. Es igualmente indispensable una verificación de la profundidad del lecho del terreno.

Una vez hecho esto, se calculará la fundación como si la carga total debiera reposar sobre la punta.

Un caso muy frecuente de utilización de los pilotes para hacer transmitir la carga a una capa resistente situada a profundidad es aquel en que la carga se transmite a una capa de arena o arena y grava por encima de la cual hay arcillas o limos sin consistencia. Resulta difícil a menudo obtener muestras intactas de arena o de arena y grava y efectuar mediciones de ángulo de frotamiento interno. En la práctica se puede admitir un ángulo de frotamiento de 30° para la arena fina y de 35° para la arena y grava en la aplicación de las fórmulas anteriores.

2) *Caso de los pilotes flotantes.* — Se utilizan los pilotes flotantes cuando se está en presencia de capas comprimibles de gran altura. Se dice que una fundación es de pilotes flotantes cuando la punta se hinca en una capa cuya compresibilidad es del mismo tipo que la de las capas que atraviesa el pilote. En este caso la colocación del pilote movilizará no sólo la resistencia en la punta sino también la resistencia al frotamiento lateral a lo largo del pilote.

Supongamos, por ejemplo, el caso de pilotes clavados en la arcilla plástica.

a) En el momento de la colocación se puede contar:

Con una resistencia en punta, establecida por la fórmula del señor Ferrandon.

Con una resistencia al frotamiento lateral debida a la presión del terreno que se podrá calcular aplicando los coeficientes establecidos por el Sr. Kerisel, sin tener en cuenta la cohesión que podría quedar destruída a causa del desplazamiento de la arcilla a lo largo del pilote en el momento de la hinca.

b) Una vez que el pilote ha sido colocado, el terreno se consolidará alrededor. Esto podrá comportar:

— en primer lugar una descompresión progresiva si ha habido penetración en la arcilla; el agua contenida que fué sometida a una superpresión en las inmediaciones del pilote se distiende. Esa descompresión aparecerá solamente si se efectúa un ensayo de carga inmediatamente después de la hinca y si la carga queda en su sitio. El efecto de descompresión no intervendrá si el ensayo se efectúa después de un cierto tiempo y tampoco habrá ocasión de tenerlo en cuenta si se hace uso de la fórmula de cálculo.

— al mismo tiempo que el suelo se descomprime en torno al pilote, se consolida y se une a él. La capa de arcilla que lo rodea se deshidrata parcialmente por absorción del agua del hormigón y si se extrae el pilote se verá que está cubierto de arcilla.

Si se cargan los pilotes progresivamente, que es lo que sucede en una construcción en la que la carga se aplica a medida que la construcción se eleva, la consolidación puede considerarse como un hecho sin discusión cuando se carga el pilote. En el cálculo de las resistencias de los pilotes se puede hacer intervenir entonces la cohesión y la presión de consolidación que habrán sido determinadas por la experiencia. También en ese caso es preciso tener en cuenta el hecho de que el punzonamiento es precedido por deformaciones plásticas del suelo que corresponden a hundimientos inadmisibles, a tal punto que es necesario aplicar a la carga calculada un coeficiente de seguridad.

Estos son los métodos de cálculo de fundaciones que pueden emplearse en el caso de los pilotes y esos son también los casos corrientes en que éstos se emplean. Con toda premeditación no hemos mencionado la fundación mixta, sobre zampeado y sobre pilotes, aunque se utilice muy a menudo. La incertidumbre de la repartición de las cargas no permite una previsión sana de las cargas aplicadas a unos y otros.

DISCUSION

La exposición en Francia, ante reuniones de ingenieros, de las experiencias de Kerisel y Mayer, dió motivo a diversas discusiones; de una de ellas extractamos los siguientes párrafos:

Un miembro del auditorio: ¿Cuántos pilotes fueron usados en los ensayos de Gennevilliers?

Sr. Mayer: Los ensayos se efectuaron con un solo pilote. Esos ensayos son extremadamente costosos y muy largos. Sin embargo, a causa del interés que ofrecían los resultados obtenidos, un determinado número de postes, definitivos esta vez, fueron equipados como el primero, con células.

Un miembro del auditorio: Un pilote no es suficiente para edificar una teoría.

Sr. Mayer: Es por esa razón que no pretendí presentar una teoría sino exponer las comprobaciones realizadas en ocasión de ese ensayo.

Sr. Meraboff. — Al referirse a ese pilote habla usted de rozamiento lateral y de medición de presiones a lo largo del pilote. ¿Se tuvo en cuenta también el efecto de punta?

Sr. Mayer: Creo haber indicado que en el ensayo de Gennevillers se separó el efecto de punta de la presión lateral dividiendo el pilote de modo que actuara separadament sobre la punta y la columna del pilote.

Sr. Buisson: Hubiera sido interesante determinar la influencia del rozamiento y la influencia de punta y separar ambas.

Sr. Mayer: Eso es precisamente lo que se hizo.

Sr. Buisson: En el ensayo de Donzère tampoco se vió la influencia de la profundidad, es decir lo que sucede cuando se hinca el pilote. Se tiene el resultado obtenido a una profundidad determinada pero no en vías de hincamiento.

Sr. Mayer: Pero esos pilotes fueron hechos para transmitir la carga a una profundidad determinada.

Sr. Buisson: ¿Los pilotes fueron hincados por medio de gatos?

Sr. Mayer: En efecto, el pilote estaba completamente aislado del terreno. Por consiguiente sólo hubo efecto de punta.

Sr. Buisson: ¿No fué posible medir el rozamiento durante la hinca?

Sr. Mayer: No se intentó hacerlo. Lo que se buscaba era estudiar la marga con vistas a la instalación de una usina.

Sr. Buisson: ¿Se tomó nota durante la hinca del pilote, de las cargas necesarias para hacerlo descender cuando se estaba en la grava o en las capas superiores?

Sr. Mayer: Lamentaría haberme explicado mal. Ese pilote fué introducido en el interior de un tubo que lo aislaba completamente del terreno natural. Por consiguiente no había ninguna posibilidad de medir absolutamente nada. Además no era eso lo que buscábamos.

Sr. Buisson: ¿Pero no se lo hincó de un solo golpe?

Sr. Mayer: Se practicó una perforación con un tubo y en su interior se descendió un pilote.

Sr. Kerisel: Me complace enormemente que haya usted efectuado experimentos que prolongan los míos y arrojan una mayor claridad sobre cuestiones tan complejas.

Según mi opinión, el principal resultado que yo obtuve era el siguiente: que hay dependencia entre la resistencia en la punta y el frotamiento lateral.

El dispositivo que utilicé en mis experiencias y que es análogo al de Gennevilliers permitía transmitir la carga sobre la punta suprimiendo total o parcialmente la carga sobre la pared lateral. Se comprobó que sobre la punta se concentraba la parte de frotamiento lateral suprimido. Los clásicos equilibrios de presión sobre la pared lateral y su prolongamiento se transforman entonces en los equilibrios llamados explosivos por el Sr. Bonneau y en los cuales las curvas de deslizamiento se inclinan desde la punta para apoyarse sobre la parte inferior de la superficie lateral.

Creo que en sus experiencias no estudió usted esa interdependencia del efecto de punta y del frotamiento lateral.

Sin embargo creo haber visto en el gráfico relativo al pilote de Gennevilliers que la fuerza de 75 t está enteramente absorbida por la resistencia de la punta y el frotamiento contra la parte inferior de la pared lateral. Creo que eso corresponde a un equilibrio del género del que acabo de describir.

Sr. Mayer: Los primeros ensayos de Gennevilliers estuvieron exclusivamente consagrados a la punta y la columna fué inmovilizada con relación al terreno natural. Se efectuó unicamente el ensayo de punta y la verificación de las fórmulas establecidas. En este punto todos los resultados fueron unánimes y la teoría quedó perfectamente confirmada.

En cuanto a la interdependencia entre la punta y el frotamiento, puedo señalar que fué verificada en Gennevilliers como lo hizo usted en sus ensayos. El hecho de cargar el terreno al nivel de la punta provoca un estado de presiones no sólo a un nivel inferior a ésta sino también por encima de ella, en toda la altura de la columna. A causa del aumento de la presión ejercida por el terreno sobre la columna, aumenta la resistencia al cizallamiento del suelo en las proximidades de la columna, aumentando también la carga susceptible de ser acumulada por el frotamiento lateral. Creo, además, que esta parte de los ensayos de Gennevilliers merecerían una nota complementaria que quisiera pedir al Sr. Cambefort. Si hoy no me referí a ello fué porque quise consagrarme exclusivamente a las aplicaciones prácticas debiendo limitarme por eso, de la totalidad de la carga, al hecho dominante de la resistencia en la punta, el caso en que las capas de terreno que atraviesan la columna sean más compresibles en la base que en la parte superior. En este caso, y según mi opinión, esto constituye lo esencial de las

comprobaciones efectuadas, el cálculo debe realizarse como si la totalidad de la carga fuese soportada por la punta. En Gentilly, donde teníamos un terreno homogéneo, nos ingeniamos para suprimir el efecto de punta. Considerábamos resuelto el problema de la resistencia de punta y tratamos entonces de medir el frotamiento lateral en un material homogéneo y coherente.

Sr. Caquot: Debemos felicitar al Sr. Mayer por la presentación lógica de los hechos experimentales que nos ha comunicado, que confirman las experiencias en modelos reducidos y la teoría mecánica que de ellos se deriva, poniendo de relieve el hecho de que el elemento esencial para el pilote es la resistencia en la punta.

El frotamiento lateral cambia de signo, efectivamente, en dos casos. En primer lugar, cuando las capas disminuyen espontáneamente de volumen y a causa de ellos el suelo natural se hunde, el movimiento relativo del terreno y del pilote cambia de signo y por consiguiente es necesario invertir el frotamiento lateral en la evacuación de la resistencia del pilote cuando se hace uso de las fórmulas de hinca dinámica que son las únicas prácticas para un pilote aislado. El coeficiente de seguridad excepcional seis de la fórmula de los holandeses tenía en cuenta precisamente esa necesidad. Es mucho más exacto determinar cuál es la resistencia lateral trazando, según los hundimientos, el gráfico de las cantidades de movimientos necesarios para hincar el pilote y, cuando se llega al resultado final tener en cuenta la resistencia lateral invirtiéndola.

Existe también una causa muy frecuente del cambio de signo del frotamiento lateral, y es la carga del suelo en las proximidades de las construcciones. Basta para esto utilizar la plataforma entre los pilotes. Entonces el suelo no puede hundirse sin apoyarse sobre ellos. De esto resulta que el pilote ideal en tales condiciones tiene una punta muy ancha y una columna lo más angosta y lisa posible, de modo que el término negativo quede disminuído. Acabo de hacer construir un gran número de pilotes de este tipo.

Para que la seguridad sea completa, es necesario también que las capas inferiores resistentes sean suficientemente espesas. Se puede llegar a saberlo muy fácilmente y con suma rapidez haciendo uso de rieles. Como éstos tienen una resistencia unitaria 40 veces superior a la del hormigón, permiten reconocer el terreno a unos diez metros por debajo de la superficie de detención de la punta del pilote de hormigón o de madera.

En estas condiciones la fundación sobre pilotes es la más segura de todas. Es el método que empleé para la fundación del gran dique de Saint Nazaire en un terreno muy variable de un punto a otro.

En cuanto a la fórmula que se ha de aplicar para la resistencia del suelo de la capa de rechazo, es necesario prever dos casos.

O bien se efectúa la construcción simplemente sobre el suelo de modo que el hundimiento sea elástico, y en ese caso la base de cálculo es entonces el límite del campo elástico y por consiguiente conviene utilizar los métodos de Boussinesq aplicables a ese caso particular gracias a la fórmula del Sr. Ferrandon.

O bien se hinca un pilote y en ese caso ya no se tendrá en cuenta el equilibrio elástico porque se ha superado esa etapa y se está entonces en equilibrio plástico. En ese caso se debe utilizar la fórmula de la resistencia en punzonamiento.

En ambos casos se hará uso del coeficiente de seguridad normal de la obra que se ha de construir.

FUNDACION SOBRE PILOTES

Resistencia en punta segun el Sr. FERRANDON

(Informe del Cuerpo de Ingenieros del 1 de septiembre de 1942)

Notación:

t, Δ espesor y peso específico de cada capa de terreno atravesado por el pilote

T hinca ficticia del pilote $\Sigma \Delta t$, extendiéndose la totalidad a todas las capas atravesadas por el pilote;

φ ángulo de frotamiento interno de terreno *en la base del pilote*;

c cohesión propia del terreno en la base del pilote;

p sobrepresión admisible en el terreno al nivel de la base de fundación.

$$p = \frac{T + C \operatorname{cotg} \varphi}{\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{2 - \operatorname{sen} \varphi} \sqrt{\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{3 - \operatorname{sen} \varphi}} - 1}$$

Empleo del nomograma:

La intersección de las curvas y del ábaco define un punto Δ característico del terreno. El alineamiento $T\,\Delta$ da p.

BIBLIOGRAFÍA

Régimen y aprovechamiento de la Red Fluvial Argentina, por F. A. SOLDANO, 2 tomos, 541 págs., 369 figs. Ed. « Albatros », Buenos Aires, 1947.

La laboriosa tarea de reunir en una publicación los aspectos particulares de los principales ríos argentinos, era una necesidad sentida por quienes se dedican habitualmente a cuestiones que se relacionan con ellos, como también, para los que con esa información pueden satisfacer el interés de otros sectores de actividades que en alguna forma deben conocer algunas circunstancias de uno o algunos de los ríos de nuestro sistema hidrográfico. Por otra parte, no menos importante pudo ser la aspiración de obtener conocimientos para sí o el de lograr la consulta orientadora para la enseñanza, carentes hasta entonces de una fuente de información accesible, reunida y ordenada.

No parece sencillo explicarse cómo pudo ocurrir y prolongarse tan sensible laguna bibliográfica en esa materia. Sin embargo, puede apuntarse como causa más probable, el hecho de que los trabajos fluviales e hidrométricos están generalmente a cargo de los Estados nacional y provinciales, y en el primer caso en manos de diversos servicios; todos ellos reúnen observaciones e información para satisfacer propias necesidades pero pocos son los organismos que dan publicidad a los resultados fundamentales.

Ante tal dificultad para ponerse en contacto con la documentación técnica necesaria y si se tiene en cuenta la voluminosa recopilación de antecedentes y observaciones exigida por la presente obra, puede apreciarse cuánta debió ser la dedicación y el aliento del autor para dar cima a su meritorio propósito.

A pesar de la colaboración que, como lo expresa el ingeniero Soldano, le han prestado colegas y organismos oficiales, no pudo ser ajena al logro de su afán, su larga actividad profesional en tales aspectos de la ingeniería y especialmente, la cátedra universitaria, cuyo ejercicio exije la acumulación y el ordenamiento de abundante bibliografía y fomenta el método y la disciplina para dominar los grandes conjuntos.

El libro consta de dos tomos. El primero se refiere al gran sistema hidrográfico del Paraná; el siguiente considera los ríos del árido Norte y Oeste, menos los que pertenecen a la cuenca del Paraná, y los ríos de la Patagonia.

Para entrar en mayores detalles, el sistema del Paraná fué tratado a partir de sus fuentes, y se ilustran los temas con autorizadas citas de expedicionarios brasileños que han contribuido con sus estudios a proporcionar informaciones sobre tan extensa cuenca. Con similar interés se analiza el río Paraguay, desde sus nacientes en el Brasil hasta su desembocadura frente a Corrientes. En capítulos aparte estudia el río Pilcomayo y el río Bermejo, tributarios del Paraná a través del río Paraguay.

El capítulo siguiente se refiere al río Iguazú, que abarca una cuenca imbrífera y una región climática que le proporcionan un régimen de aportes líquidos diferente del Alto Paraná.

El conjunto de ríos citados forma la cuenca superior del Paraná y de ella el autor desarrolla separada o relacionadamente el aspecto fisiográfico, el régimen hidrológico comprendiendo el estudio de las alturas hidrométricas relativas, la navegabilidad y los trabajos de corrección del río y cuando corresponde, la mención de planes de obras y los aprovechamientos de riego e hidroeléctricos actuales y posibles.

Al río Uruguay, que se estudia a continuación, el autor lo considera afluente del Paraná, extendiéndose en el análisis de su aspecto fisiográfico y régimen hidrológico, muy parecidos a los del río Iguazú, cuyas cuencas son vecinas; recapitula las posibilidades de aprovechamiento hidroeléctrico y riego, complementando el tema con las ventajas que proporcionarían tales obras a la navegabilidad.

Para completar el gran sistema del Paraná se refiere al río Juramento-Salado y al sistema Tercero-Cuarto-Carcarañá; referente al primero, se particulariza con su fisiografía especial y en general desarrolla los capítulos con el método señalado, a saber: fisiografía, régimen hidrológico, inundaciones, regadíos, aprovechamoento hidroeléctrico y navegabilidad, tema éste que lo desarrolla mayormente en cuanto al Tercero-Carcarañá reseñando conceptos, que a su juicio complementarían la solución Huergo.

El capítulo final del primer tomo trata el río Salado de la Provincia de Buenos Aires y se particulariza con el problema de la vinculación de la propia cuenca con las probables afluencias de la cuenca alta proveniente de Córdoba y con el de las grandes crecidas registradas, recordando sumariamente el problema de las inundaciones.

El segundo tomo trata en los once primeros capítulos los siguientes ríos de la gran zona árida: Salí-Dulce; Primero; Segundo; Quinto; Jáchal; San Juan; Mendoza; Tunuyán; Diamante; Atuel, y Colorado. Pero, en Apéndice, agrega como cuencas cerradas, los ríos Cruz del Eje, de los Sauces, ambos de la Provincia de Córdoba, y el río Conlara en la de San Luís, en su mayor recorrido. Ahora bien, debe señalarse que de la primera enumeración también pertenecen a otra cuenca cerrada los ríos Salí-Dulce, Primero y Segundo.

Los ríos mencionados se analizan con el mismo método ya señalado, a saber: aspecto fisiográfico, hidrología comprendiendo el régimen de los gastos líquidos, regadíos y aprovechamientos hidroeléctricos y la somera mención de algunas obras fluviales fundamentales, ejecutadas, en ejecución o planeadas.

El río Negro, « el más importante de todos los cursos de agua que nacen y mueren en territorio nacional », lo estudia desde las fuentes de alimentación correspondientes a los ríos Neuquén y Limay. Primeramente se refiere al aspecto fisiográfico y al régimen hidrológico en diversas partes del sistema y a la influencia de la derivación parcial hacia el lago Pellegrini, en ocasión de las crecientes extraordinarias; luego, se particulariza con los regadíos, aprovechamientos hidroeléctricos y la navegabilidad del río.

El sistema Chubut-Senguerr lo analiza por partes, según la fisiografía e hidrología del río Chubut, para el cual estudia el relacionamiento de escalas y

da la ecuación de la curva de descarga. Prosigue con un estudio similar del Senguerr, con el plan de obras para la alimentación del río Chico, el Chubut inferior y conjuntamente, proporciona breves consideraciones sobre embalses, regadíos, aprovechamientos hidroeléctricos y navegabilidad.

Otro capítulo se extiende sobre la fisiografía, hidrología y navegabilidad del río Santa Cruz.

Un tema interesante trata en las consideraciones finales, reuniendo breves comentarios sobre fisiografía general y geología argentina para establecer las características resaltantes de las grandes zonas en que hidrográficamente puede subdividirse el país, destacando, en el balance de las disponibilidades hídricas, la pobreza que bajo ese aspecto sufre el mismo, no mucho más allá de la región litoral.

El libro está profusamente ilustrado con mapas, tablas, diagramas y fotografías, Su lectura es agradable y amena, pues la exposición generalmente objetiva de los hechos, se cumple con lenguaje claro, apropiado al caso, y conceptuoso.

Ahora bien, esta obra, por su naturaleza, destinada al estudio de la red fluvial argentina, proporciona los elementos básicos del tema. No puede esperarse de la misma, la información detallada, completa y actual propia de cada curso, porque esa es tarea que escapa a su finalidad. En efecto, uno de los altos méritos es haber logrado medir y metodizar los temas para brindarlos siempre con similar amplitud.

Justamente, puede estimarse el libro que se comenta, como el resumen general, muy bien logrado, de publicaciones que en el futuro deberán tratar los sistemas fluviales particulares.

J. S. G.

INDICE GENERAL

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN EL TOMO CIENTO CUATRIGÉSIMO QUINTO